

Anna Poszytek

Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa

## Program SEDPAK jako narzędzie do dynamicznego modelowania wypełnienia basenów sedymentacyjnych

Program SEDPAK umożliwia, stosując klasyczny model stratygrafii sekwencji, analizę warunków sedymentacji w basenie na podstawie opracowanych wcześniej profili depozycyjnych. Program posiada algorytmy zmienności warunków i tempa sedymentacji dla różnych typów osadów klastycznych i węglanowych. Na podstawie własnych diagnoz można narzucić zmienne w czasie warunki sedymentacji i odtworzyć architekturę depozycyjną basenu. Efektem symulacji są dynamiczne modele rozwoju basenów sedymentacyjnych, pozwalające śledzić nie tylko rozwój basenu, ale także rozprzestrzenienie poszczególnych typów skał. Wygenerowany model geologiczny stanowi podstawę do analizy historii termicznej basenu. W pracy przedstawiono wstępne wyniki modelowania basenów sedymentacyjnych z wykorzystaniem programu SEDPAK. Badania zlokalizowano na obszarze zapadliska przedkarpackiego, a modelowanie oparto o utwory klastyczne i węglanowe jury i kredy z podłoża zapadliska przedkarpackiego oraz utwory miocenu wypełniające zapadlisko przedkarpackie. Na podstawie wygenerowanego modelu geologicznego podjęto także próbę odtworzenia historii termicznej basenu.

### Program SEDPAK as a tool for dynamic modeling of basin filling

Program SEDPAK is based on conventional sequence stratigraphy model. Program makes possible analyze basin fill by different sediments. Sedimentary profiles are necessary to define some sedimentary conditions as: subsidence, eustatic, sediment supply. Program create depositional architecture for clastic, carbonate and mix sediments. Based on geological models program can calculate thermal history. This paper presents initial results of SEDPAK modeling. Researches was investigated at the part of Carpathian Foredeep. Jurassic, Cretaceous and Miocene sediments were used to modeling. Based on geological models program calculate initial thermal history for the Carpathian Foredeep and its basement.

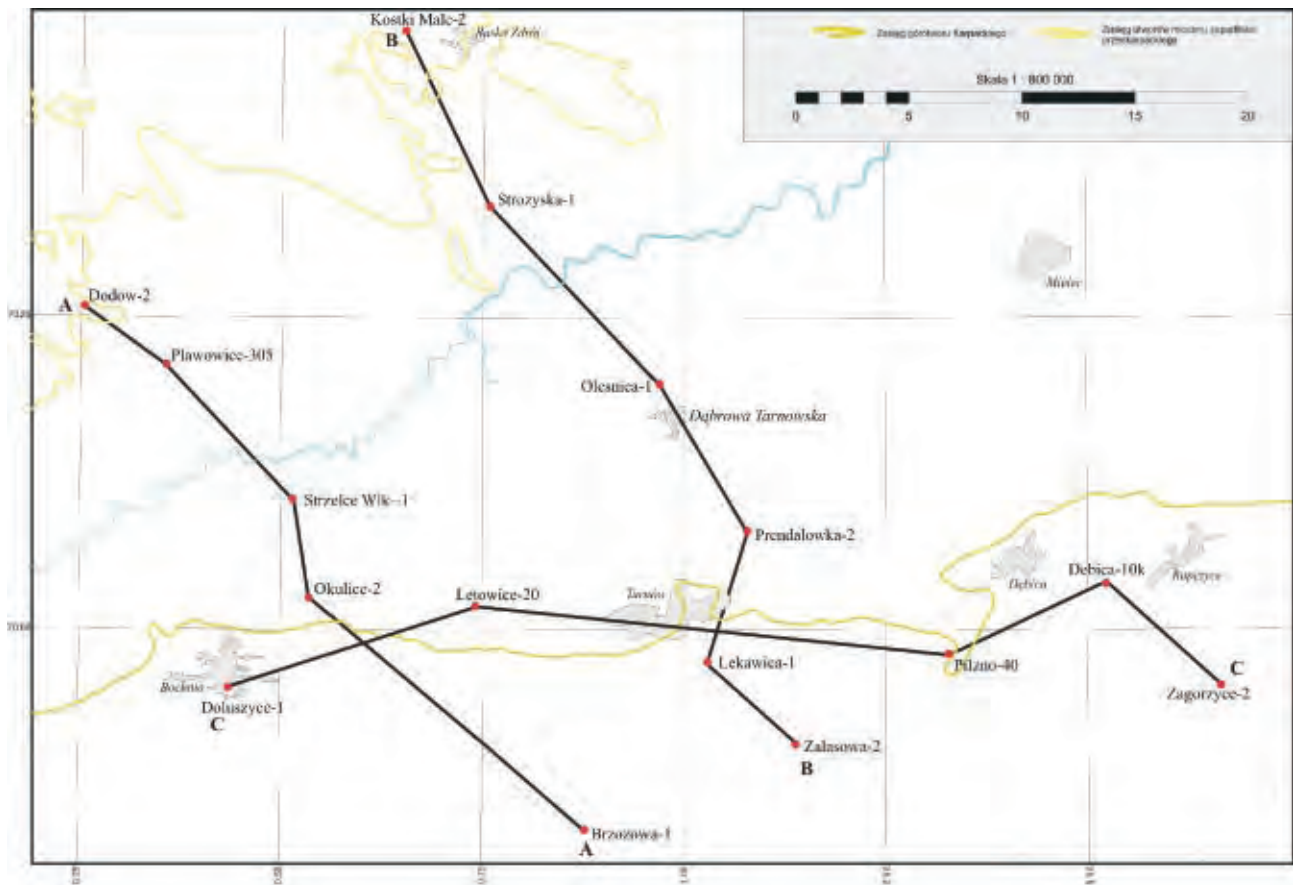
### Wstęp

Zapadlisko przedkarpackie jest obszarem objętym intensywnymi pracami poszukiwawczymi złóż węglowodorów. Węglowodory występują zarówno w utworach miocenu autochtonicznego jak i w skałach podłoża, np. utworach dewonu [12] czy utworach jurajskich [3, 4, 5, 8, 14, 15]. Szczególne zainteresowanie skierowane jest na górnourajskie budowle organiczne, mające duże znaczenie przy migracji i akumulacji węglowodorów [11]. Złoża występujące w utworach jurajskich mają charakter strukturalno-tektoniczny i charakteryzują się niewielkimi rozmiarami. Powoduje to, że ich interpretacja na podstawie sejsmiki jest mocno utrudniona. Znaczna zmienność utworów jurajskich oraz nierównomierne rozmieszczenie otworów wiertniczych powoduje, że korelacje międzyotworowe są często trudne i hipotetyczne. W przypadku utworów jurajskich z podłoża zapadliska przedkarpackiego, uzasadnione jest wykonywanie modelowania, które wskaże strefy występowania potencjalnych skał zbiornikowych.

W niniejszej pracy podjęto próbę odtworzenia modelu rozwoju basenu sedymentacyjnego przy pomocy programu SEDPAK. Program SEDPAK został wykorzystany dzięki życzliwości Prof. Chrisa Kendalla z University of South Carolina. Program wykonuje empiryczną symulację opartą o proste, geometryczne relacje, wykorzystujące zasady stratygrafii sekwencji [17]. Wygenerowane modele służą do wizualizacji i analizy geometrii różnych sekwencji stratygraficznych. Geometria poszczególnych wydziełów jest związana z procesami determinującymi rozwój basenu: eustatyką, wydarzeniami tektonicznymi i wielkością dostawy materiału klastycznego do basenu sedymentacyjnego. Program SEDPAK wykonuje symulacje w oparciu o własne algorytmy, o wartości wprowadzone przez użytkownika oraz w powiązaniu z danymi z otworów wiertniczych i sejsmiki. Dane wprowadzane do programu determinują konfigurację basenu w funkcji czasu. Poszczególne wartości mogą być zależne od lokalnej tektoniki, wysokości poizo-

mu morza, kierunku dostawy materiału klastycznego i wielkości sedymentacji węglanowej. Empiryczny model architektury depozycyjnej jest generowany w postaci wypełnienia dwuwymiarowego modelu basenu przez osady węglanowe i klastyczne. Model interpretuje zmienność geometrii osadów w czasie, co jest związane z pierwotnie określonymi procesami. Wartości determinujące poszczególne procesy, a więc

wpływające też na geometrię poszczególnych osadów, mogą być zmieniane na bieżąco, aż do uzyskania wystarczającej zgodności z danymi z otworów wiertniczych i przekrojów sejsmicznych. Wygenerowane modele wskazują na występowanie i rozprzestrzenienie facji zbiornikowych oraz uszczelniających, w związku z tym są istotnym elementem w poszukiwaniach węglowodorów.



Rys. 1. Lokalizacja przekrojów wygenerowanych w programie SEDPAK

### Budowa geologiczna

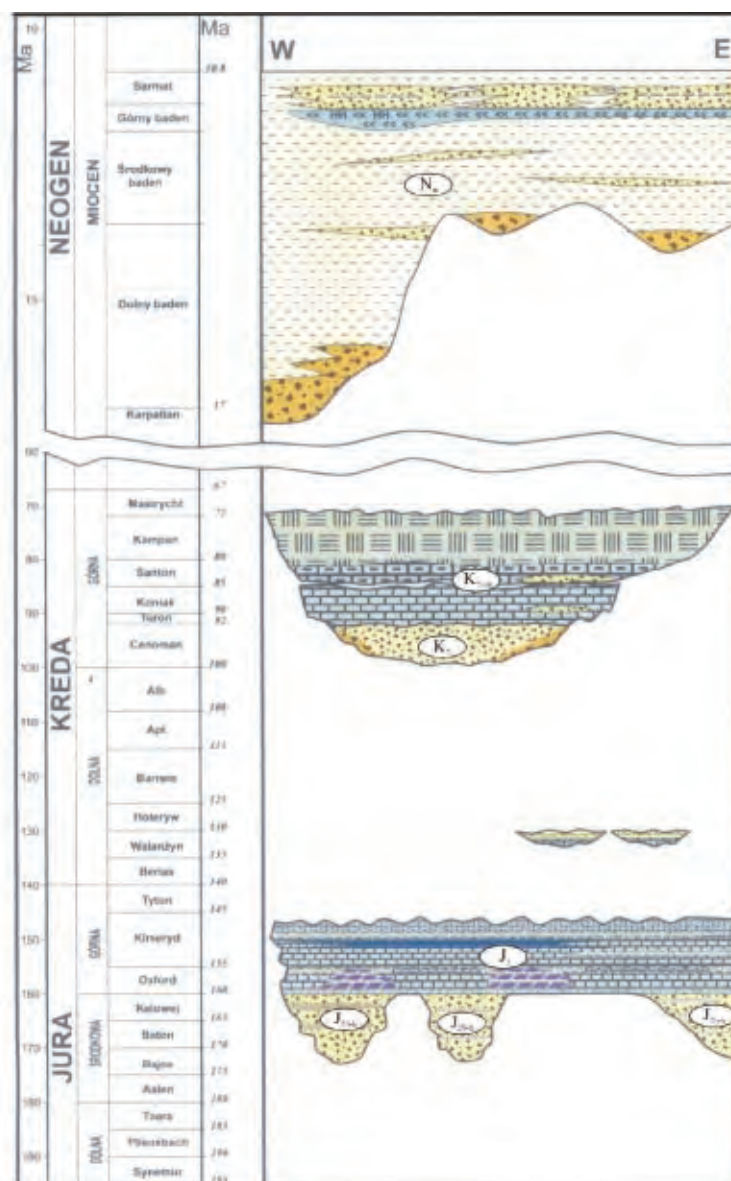
Informacje na temat utworów podłoża zapadliska przedkarpacciego pochodzą z otworów wiertniczych i badań geofizycznych, głównie sejsmicznych. Na tej podstawie stwierdzono, że podłożo zapadliska przedkarpacciego charakteryzuje się budową blokową [7]. Utwory jury stanowią na dużej powierzchni zapadliska bezpośrednie podłożo dla miocenu. Sukcesja jurajska rozpoczyna się utworami środkowej jury (rysunek 2). Są to piaskowce, piaskowce mułowcowe i mułowce, pochodzenia lądowego, występujące lokalnie i wypełniające zagłębienia erozyjne w starszym podłożu ( $J_{2b-k}$ ) [7]. Utwory jury górnej to zarówno skały węglanowe pelagiczne, jak i płytkomorskie ( $J_3$ ). Przy-

jeto, że utwory te miały maksymalnie 1350 m miąższości (otwór Nawsie-1). W wyniku erozji związanej z ruchami młodokimeryjskimi, obecnie mają zróżnicowaną miąższość. W obrębie utworów górnej jury wyróżniane są: wapienie gąbkowe, wapienie koralowcowe, wapienie margliste i margle oraz utwory wapienno-dolomityczne [13]. Istotne znaczenie z punktu widzenia poszukiwań naftowych mają utwory gąbkowe i koralowcowe, charakteryzujące się dość dobrymi właściwościami zbiornikowymi [11]. Biohermy rozwijały się w głębokim epikontynentalnym basenie, a ich rozmieszczenie było związane z istnieniem wyniesień podłoża. Biohermy zagałębiały się facjalnie z uławionymi

wapieniami gąbkowymi i wapienno-marglistymi [14]. Rafy koralowcowe występują głównie w południowej części podłoża zapadliska, pod przykryciem utworami fliszowymi. Znajdują się one w odmiennym planie strukturalnym niż biohermy i tworzą strefę o rozciągłości równoleżnikowej. Rafy koralowcowe podłoża zapadliska przykryte są przez skrajnie płytkowodne osady węglanowe [14].

Utwory kredowe zalegają bezpośrednio pod powierzchnią trzeciorzędową. Późna kreda, po dłuższej przerwie sedymentacyjnej, rozpoczyna się utworami cenomanu [7]. Są to ponownie skały terygeniczne pochodzenia lądowego, występujące lokalnie i wypełniające zagłębienia erozyjne; mają one do kilkudziesięciu metrów miąższości ( $K_{2c}$ ). Ponad piaskowcem cenomańskim zalegają przekraczając margliste i wapienno-margliste utwory kredy górnej ( $K_{2l-m}$ ). Są to pelagiczne węglany, których maksymalna miąższość wynosiła 400-600 m [1]. W wyniku erozji, obecnie mają zróżnicowaną miąższość. Po późnej kredzie obszar przedgórza, w wyniku fazy laramijskiej ulega wypiętrzaniu i przez cały paleogen trwa okres intensywnej erozji.

Utwory jury i kredy przykryte są utworami miocenijskimi wypełniającymi zapadlisko przedkarpackie ( $N_m$ ), uformowane przed czołem nasuwających się Karpat fliszowych [16]. Utwory miocenu to utwory klastyczne nad i podanhydrotowe. Nadewaporatową część profilu reprezentują naprzemianległe laminy iłowców, mułowców i piaskowców, o dużej zmienności facjalnej. W rejonie brzegu Karpat warstwy miocenu są silnie zaburzone i złuskwane. Osady miocenu mają zróżnicowaną miąższość; od kilkuset



Rys. 2. Fragment uogólnionego profilu chronostratygraficznego dla obszaru środkowego i wschodniego przedgórza Karpat [7]

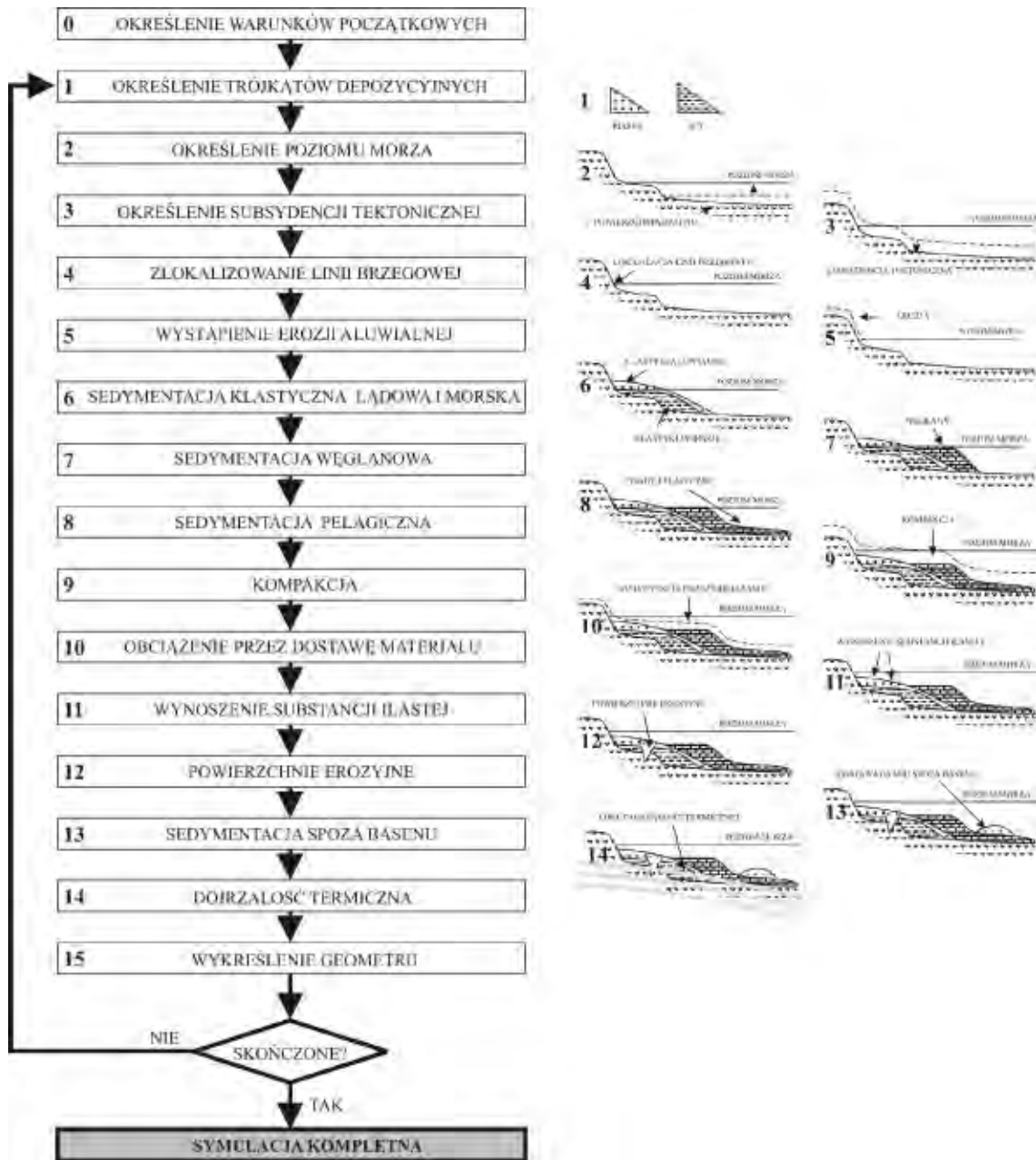
metrów do kilku kilometrów. W otworach na południu badanego obszaru utwory miocenu autochtonicznego przykryte są fliszem (FK).

## Metodyka

Program SEDPAK umożliwia wygenerowanie dynamicznego modelu sedymentacyjnego w oparciu o stratygrafię sekwencji dla utworów węglanowych i klastycznych. Modelowanie przeprowadza się na podstawie danych z rdzeni wiertniczych, geofizyki otworowej i sekcji sejsmicznych. Na podstawie dostępnego materiału faktograficznego interpretuje się warunki sedymentacji poszczególnych wydziałów stratygraficznych (rysunek 3), m.in.: morfologię dna zbiornika,

wielkość dostawy materiału klastycznego do basenu, wielkość wzniosu eustatycznego, tempo subsydencji, czy istnienie powierzchni erozyjnych.

Wygenerowany obraz jest porównywany z informacjami z otworów wiertniczych oraz sekcji sejsmicznych, aż do osiągnięcia wystarczającej zgodności. Program SEDPAK nie posiada algorytmów umożliwiających modelowanie nasuwających się płaszczowin (program uwzględnia jedynie pionowe ruchy tektoniczne),



Rys. 3. Schemat postępowania w trakcie modelowania basenu sedymentacyjnego z wykorzystaniem programu SEDPAK

stąd dla tego etapu sedymentacyjno-tektonicznego wprowadzono pewne „uproszczenia”. Utwory fliszu, powstałe w południowej części terenu, zinterpretowano w programie jako basen o bardzo silnej subsydencji, intensywnie wypełniany przez utwory ilasto-piaszczyste. Główne źródło materiału klastycznego znajdowało się na południu, zgodnie z kierunkiem nasuwających się płaszczewin. Od północnej krawędzi basenu dostarczane były znacznie mniejsze ilości materiału klastycznego.

Program SEDPAK umożliwia także modelowanie historii termicznej basenu. Model termiczny bazuje na wykonanym modelu geologicznym oraz wprowadzo-

nych wartościach gradientu geotermicznego. Algorytm przeliczania temperatur oparty jest na metodzie Time-Temperature-Index (TTI). Metoda TTI, pomimo, że podaje jedynie szacunkowe dane, jest użyteczna dla wstępnych analiz możliwości występowania węglowodorów na badanym obszarze oraz potencjalnych poziomów generacji węglowodorów w danym czasie geologicznym.

Do modelowania wykorzystano informacje zgromadzone w bazie danych PITAKA. Na podstawie charakterystyki litologicznej i stratygraficznej wybranych otworów wiertniczych z zapadliska przedkarpackiego (rysunek 1) wykonano interpretację rozwoju sedy-

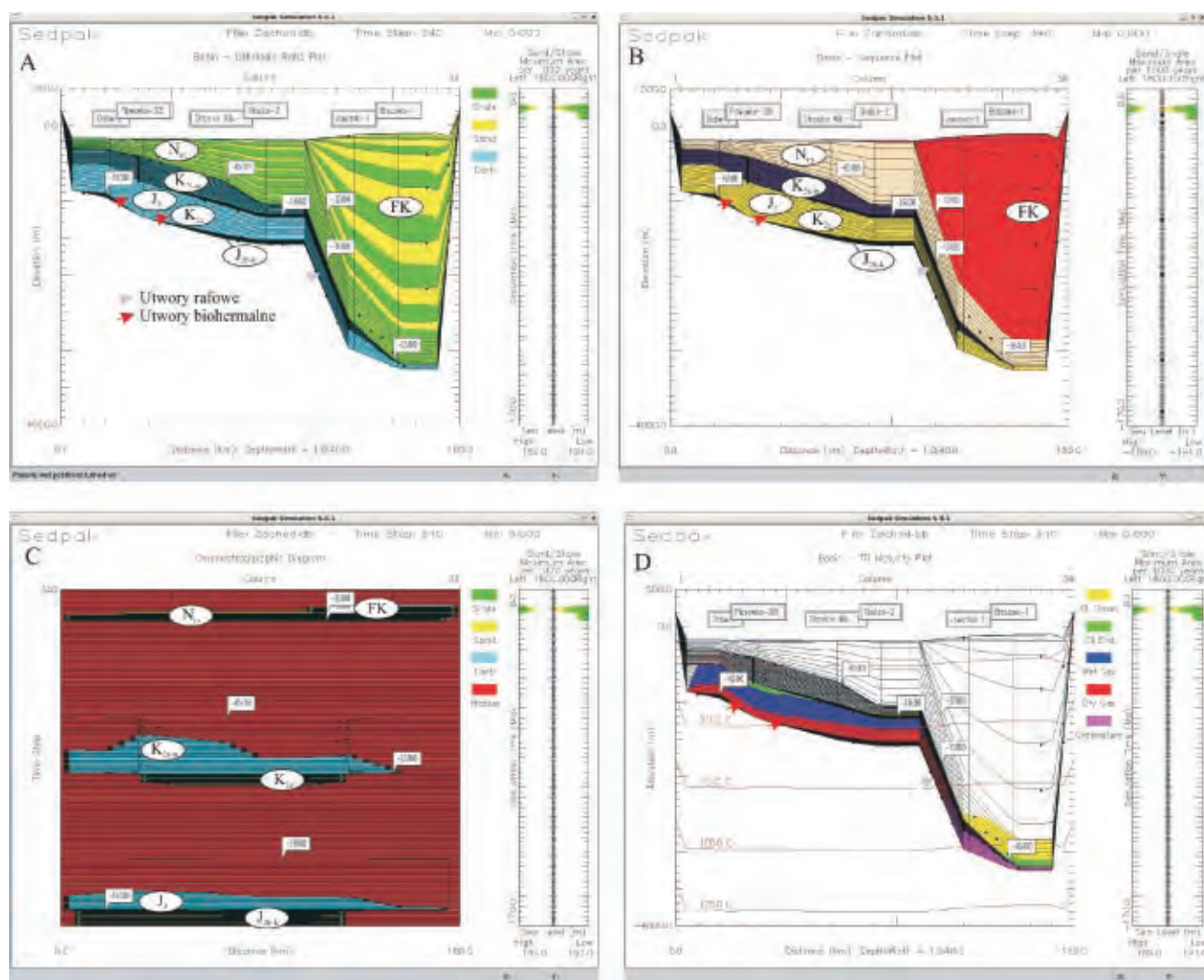
mentacji. Modelowaniem objęto utwory jury i kredy z podłoża zapadliska przedkarpackiego oraz utwory miocenu wypełniającego zapadlisko przedkarpackie. Przyjęto, że sedymentacja rozpoczęła się 170 mln lat temu (bajos) i zakończyła się 0 mln lat temu. Symula-

cję podzielono na 340 etapy czasowe (co 0,5 mln lat). Założono, że w basenie powstawały osady węglanowe (płytkowodne i pelagiczne) oraz klastyczne. Źródło materiału klastycznego było zarówno na północy, jak i na południu.

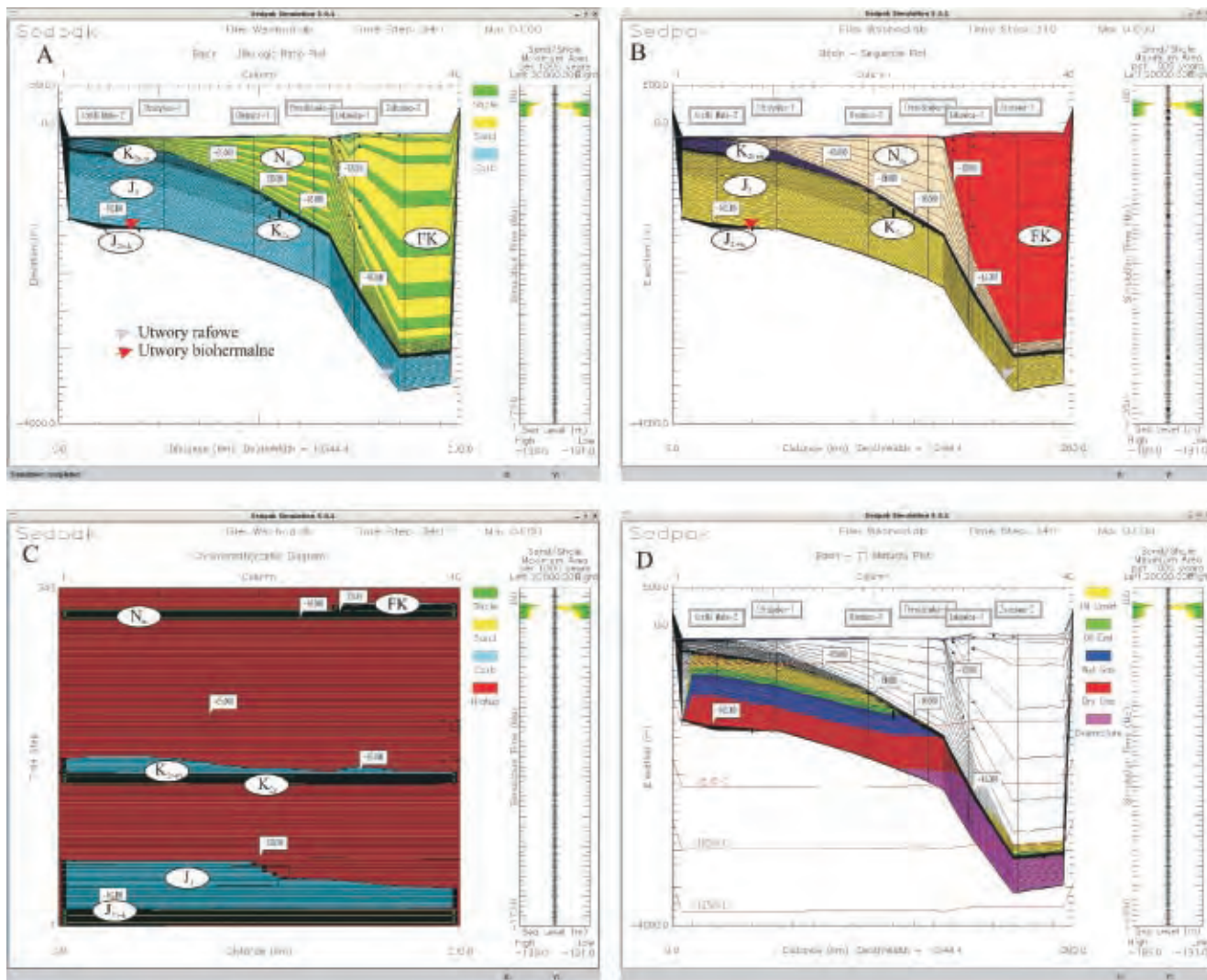
## Wyniki

Końcowym efektem modelowania są przekroje litologiczne (rysunki 4a, 5a, 6a), stratygraficzne (rysunki 4b, 5b, 6b) i chronostratygraficzne (rysunki 4c, 5c, 6c). Dla analizowanego obszaru wygenerowano 3 przekroje: dwa południkowe, zlokalizowane we wschodniej i zachodniej części obszaru oraz równoleżnikowy – znajdujący się na południu obszaru (rysunek 1). Wygenerowane przekroje pozwalają na ilościową i jakościową interpretację warunków depozycji na obszarach, gdzie nie ma otworów wiertniczych. Ma to duże znaczenie przy lokalizacji i interpretacji geometrii skał

zbiornikowych. Pomimo, że do programu zostały wprowadzone bardzo ogólne dane, możliwa jest interpretacja stref, które są predysponowane do powstania jurajskich struktur organicznych (rysunki 4, 5, 6). Wapienie gąbkowe oraz koralowce [2, 13] zostały przez program silnie powiązane z dużymi strefami uskokuwymi, odpowiedzialnymi m.in. za istnienie rowów tektonicznych, w których zachowały się utwory klastyczne środkowej jury. Synsedymantacyjna, późnojurajska aktywność tych stref tektonicznych doprowadziła do zróżnicowania miąższości i facji utworów węglano-



Rys. 4. Przekroje wygenerowane w programie SEDPAK wzdłuż linii A-A



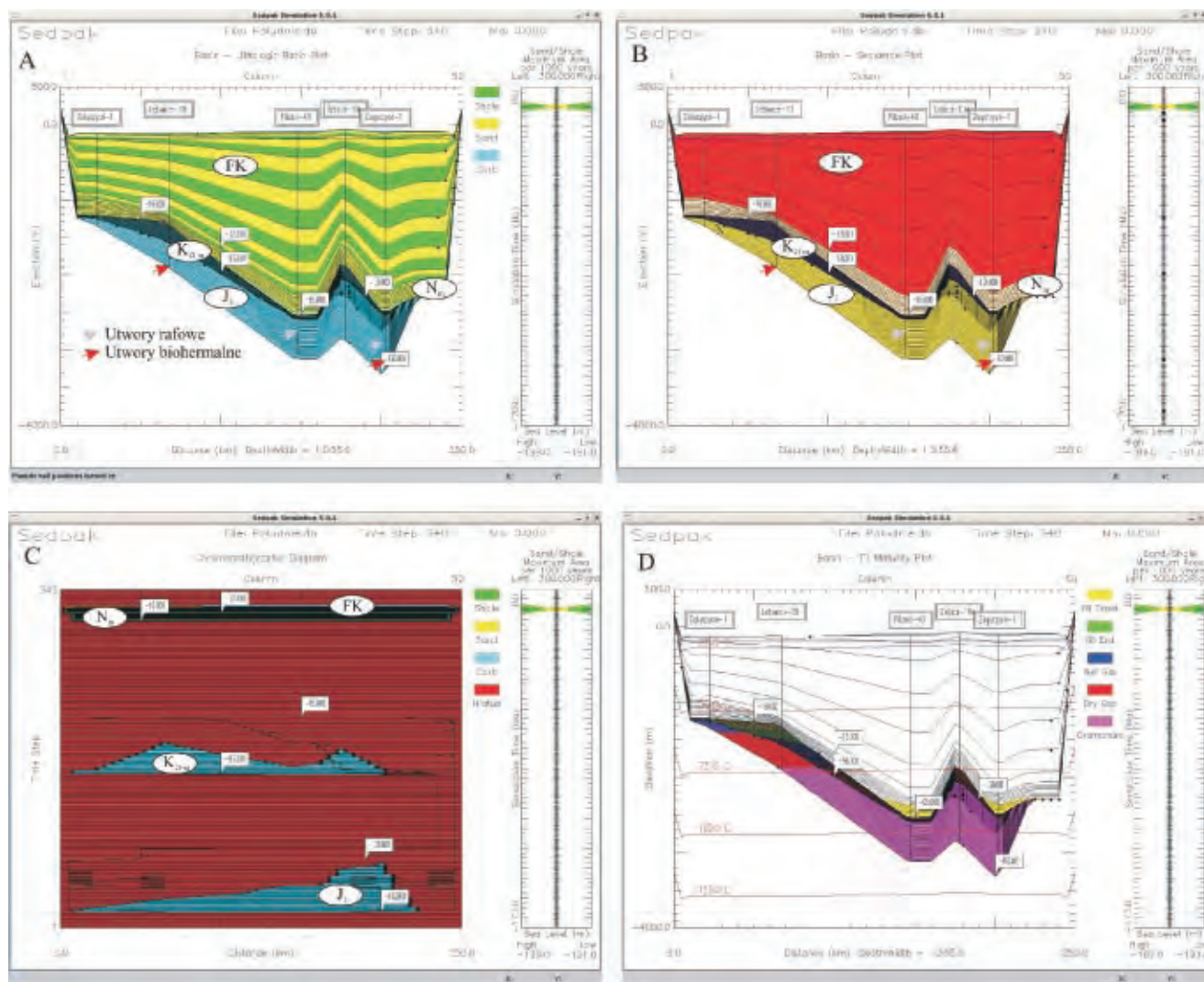
Rys. 5. Przekroje wygenerowane w programie SEDPAK wzdłuż linii B-B

wych. Lokalizacja tych stref na dwuwymiarowych przekrojach nie daje wprawdzie ich przestrzennej lokalizacji, ale pozwala na wytypowanie obszarów o podobnej charakterystyce strukturalnej.

Wygenerowany model geologiczny stanowi podstawę do analizy historii termicznej basenu (rysunki 4d, 5d, 6d). Model termiczny bazuje na wprowadzonych do programu wartościach gradientu geotermicznego. Dla basenu przyjęto średni gradient geotermiczny na poziomie 3°C/100 m, a dla etapu późnojurajskiego przyjęto podwyższony gradient geotermiczny wynoszący 12°C/100 m. Algorytm przeliczania temperatur oparty jest na metodzie Time-Temperature-Index (TTI) [18]. W literaturze sugerowanych jest kilka źródeł węglowodorów dla złóż w utworach jurajskich, m.in. wskazywane są utwory doggeru z podłoża zapadliska przedkarpacciego [10], czy skały trzeciorzędowe z Karpat fliszowych [6, 15]. Generacją wysokotemperaturowych węglowodorów mogły być też objęte utwory miocenu

zapadliska przedkarpacciego, pogrążone na znacznej głębokości [9].

Uzyskany model wskazuje na bardzo skomplikowaną historię termiczną badanych utworów. Utwory jurajskie występujące przed czołem nasunięcia karpacciego charakteryzują się zróżnicowanymi temperaturami. Na zachodzie, gdzie miąższości jury są silnie zredukowane przez erozję, większość utworów występuje w oknie „gazowym” (rysunek 4d), na wschodzie zaś, gdzie zachowały się większe miąższości jury, badane utwory występują zarówno w „oknie ropnym”, jak i „gazowym” (rysunek 5d). Utwory jurajskie znajdujące się przed czołem nasunięcia karpacciego charakteryzują się niższą dojrzałością termiczną od tych występujących pod nasunięciem. Utwory podłoża zapadliska przedkarpacciego występujące pod nasunięciem karpaccim charakteryzują się silnym podgrzaniem – te na głębokości powyżej 2500 m są w stadium „przeżrzenia” (rysunki 4d, 5d, 6d), na-



Rys. 6. Przekroje wygenerowane w programie SEDPAK wzdłuż linii C-C

tomiast utwory mioceneskie leżące bezpośrednio na utworach podłoża i pograżone na głębokości powyżej

3000 m znajdują się obecnie w „oknie ropnym” (rysunki 4d, 5d, 5d).

## Wnioski

Poprawność wygenerowanych modeli zależy od dokładności materiału faktograficznego i doświadczenia interpretatora. Należy podkreślić, że nie zawsze dostępne jest całe spektrum danych wymaganych przez program, np. odległość od obszaru alimentacyjnego. Wartość tą często trzeba szacować; na podstawie danych regionalnych, z literatury, czy też przyjąć arbitralnie. Na obszarze zapadliska przedkarpackiego oraz Karpat fliszowych istnieje dodatkowo problem z charakterem procesów tektonicznych, związanych z nasuwającymi się Karpatami. Wprowadzając pewne „uproszczenia” do historii tektonicznej tego obszaru, można wygenerować szacunkowy model, jednak uproszczenia w zasadniczy sposób wpływają m.in. na wygenerowaną historię termiczną obszaru.

## Literatura

- [1] *Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce, 1998.* Red. Dadlez R., Marek S., Pokorski J., PIG Warszawa, Darłak, Włodarczyk, 2008.
- [2] Barski M., Matyja B.A.: *Stratygrafia górnej jury podłoża zapadliska przedkarpackiego.* Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.

- [3] Czerwińska B., Krawiec D., Tłuszcz-Ferenc E., Zubrzycka M., Dzwinel K., Florek R., Zacharski J.: *Rozpoznanie geofizyczne a rzeczywista sytuacja strukturalna otworu Łapanów-2*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.
- [4] Dzwinel K., Urbaniec A., Krawiec D.: *Zastosowanie atrybutów sejsmicznych i wizualizacji 3D w celu identyfikacji facji sejsmicznych oraz uszczegółowienia budowy strukturalnej w utworach węglanowych górnej jury (rejon Gruszów-Nieczajna)*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.
- [5] Gliniak P., Laskowicz R., Urbaniec A., Such P., Leśniak G.: *Skały zbiornikowe w górnourajskich utworach węglanowych w rejonie Zawada-Lękawica*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.
- [6] Haven H.L., Lafargue E., Kotarba M.: *Oil/Oil and oil/source rock correlations in the Carpathian Foredeep and overthrust, south-east Poland*. *Ogranic Geochemistry*, 20, p. 935-959, 1993.
- [7] Jawor E., Urban U.: *Budowa geologiczna i charakterystyka utworów karbonu w południowej części bloku małopolskiego. Możliwości generowania węglowodorów w skałach karbonu w południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego*. Red. Kotarba M.J., Kraków 2004.
- [8] Kossakowski P., Zacharski J., Kotarba M.J., Więclaw D., Kowalski A.: *Macierzystość i potencjał naftowy oraz możliwości akumulacyjne utworów jury w południowo-wschodniej Polsce*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.
- [9] Kotarba M.: *Warunki generowania i akumulacji węglowodorów oraz charakterystyka geochemiczna substancji organicznej w utworach miocenu autochtonicznego zapadliska przedkarpackiego*. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, Tom 168, s. 277-295, 1999.
- [10] Kotarba, M.J., Więclaw D., Kosakowski P., Zacharski J., Kowalski A.: *Ocena macierzystości i potencjału naftowego utworów jury środkowej*. *Przegląd Geologiczny*, vol. 51, nr 12, s. 1031-1040, 2003.
- [11] Laskowicz R., Syrek-Moryc C., Urbaniec A.: *Perspektywiczność utworów górnej jury przedgórze Karpat w świetle wyników prac poszukiwawczych w ostatnich latach*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.
- [12] Leśniak G., Such., Matyasik I.: *Model powstania złoża Trzebowniko*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.
- [13] Matyja B.A., Barki M.: *Stratygrafia górnej jury podłoża zapadliska przedkarpackiego*. Wydział Geologii UW, Tomy Jurajskie IV, s. 39-50, 2004.
- [14] Matyja B.A., Urbaniec A., Laskowicz R.: *Budowle organiczne w górnej jurze podłoża zapadliska przedkarpackiego*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.
- [15] Marynowski L., Żywiecki M.M.: *Etapy napelniania pułapek systemu naftowego mezozoicznego podłoża zapadliska przedkarpackiego*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Ropa i gaz a skały węglanowe południowej Polski”. Czarna, 16-18.04.2008.
- [16] Oszczypko N.: *Miocenska dynamika polskiej części zapadliska przedkarpackiego*. *Przegląd Geologiczny*, 44, 10, s. 1007-1018, 1996.
- [17] SEDPAK help system – Copyright University of South Carolina Development Foundation.
- [18] Waples: *Advances in petroleum geochemistry*. Academic Press, p. 7-67, 1987.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki



Anna POSZYTEK – absolwentka Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie obroniła pracę doktorską na temat właściwości zbiornikowych utworów górnego czerwonego spągowca na monoklinie przedsudeckiej. Adiunkt na Wydziale Geologii UW w Zakładzie Geologii Złóż, gdzie kontynuuje pracę badawczą oraz prowadzi ćwiczenia i kursy terenowe ze studentami.